

Verbesserung der Performanz und Zuverlässigkeit von 3D-Laufzeitkamarasystemen

In Kooperation mit Schmersal GmbH & Co. KG

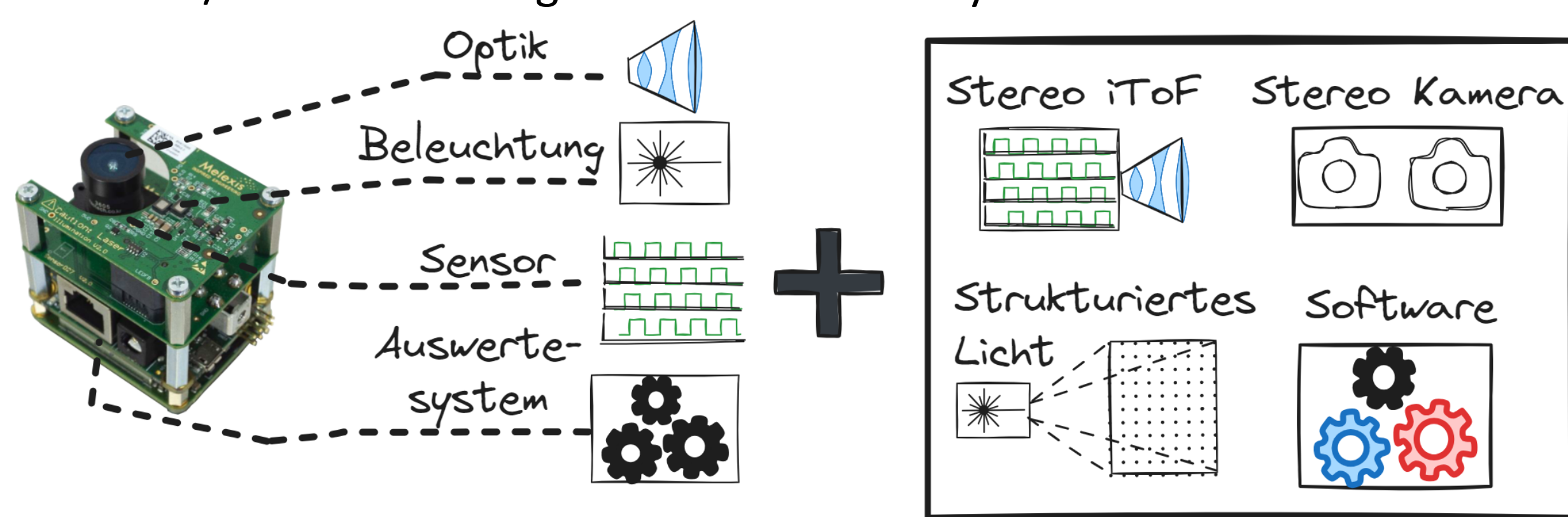
Über das Projekt

In den letzten Jahren haben 3D-Laufzeitkamarasysteme (ToF-Kameras) Einzug in immer mehr Anwendungen der Industrie und des Alltags gehalten. Sie sind insbesondere dort gefragt, wo herkömmliche 2D-Kameras durch fehlende Tiefeninformationen an ihre Grenzen stoßen. Das Ziel dieser Arbeit ist es, die Performanz und Zuverlässigkeit dieser Systeme zu verbessern. Sie konzentriert sich auf den Einsatz von Sensorfusion, um die Limitierungen von ToF-Kameras zu adressieren. Hierzu werden weitere 3D-Messverfahren integriert, die die Genauigkeit und Zuverlässigkeit der Daten verbessern und den Einsatz des Systems für Anwendungen der funktionalen Sicherheit ermöglichen.

Herausforderungen

ToF-Kameras messen die Tiefeninformation über die Phasenverschiebung zwischen dem gesendeten und wieder empfangen reflektierten Lichtsignal. Aus technischen Gründen sind jedoch mindestens vier – häufig acht – sequenzielle Messungen nötig, um ein Tiefenbild zu berechnen. Daraus resultieren drei Herausforderungen:

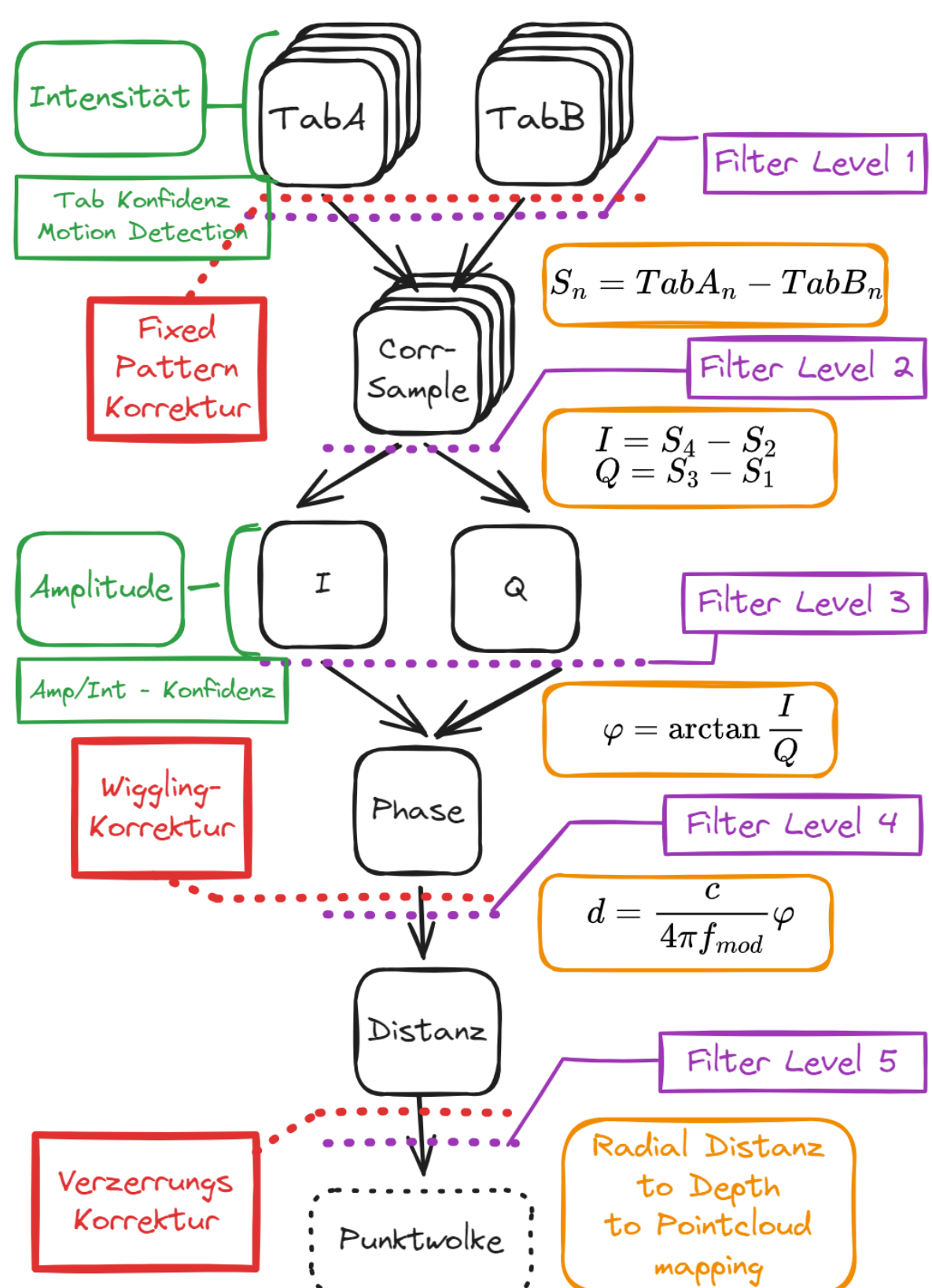
- Bewegung während der Messung → Motion Blur
- Begrenzter Eindeutigkeitsbereich → Phasewrapping
- Über-/Unterbelichtung → Dynamikbereich



Kernkomponenten eines ToF-Systems und Ideen für die Sensorfusion.

Lösungsansatz: Sensorfusion

Die Integration von einem oder mehreren zusätzliche Tiefenmessverfahren ermöglicht es, durch parallele Messungen, die Belichtungszeit zu reduzieren und die Reichweite zu erhöhen. Darüber hinaus erlaubt der Mehrkanalansatz eine direkte Verifizierung und Überwachung der einzelnen Kanäle, was für sicherheitskritische Anwendungen unerlässlich ist.



Darstellung der Algorithmik: Schwarz-Gelb die Kernalgorithmik, Grün die Konfidenzfilter, Rot Kalibration und Kompensation, Violet Bildaufbereitungsfilter

Lösungsansatz: Software

Da die Software der meisten Systeme nicht offen zugänglich ist, ist die Entwicklung einer eigenen, flexibel konfigurierbaren Algorithmik erforderlich. Diese muss vier Hauptaufgaben erfüllen:

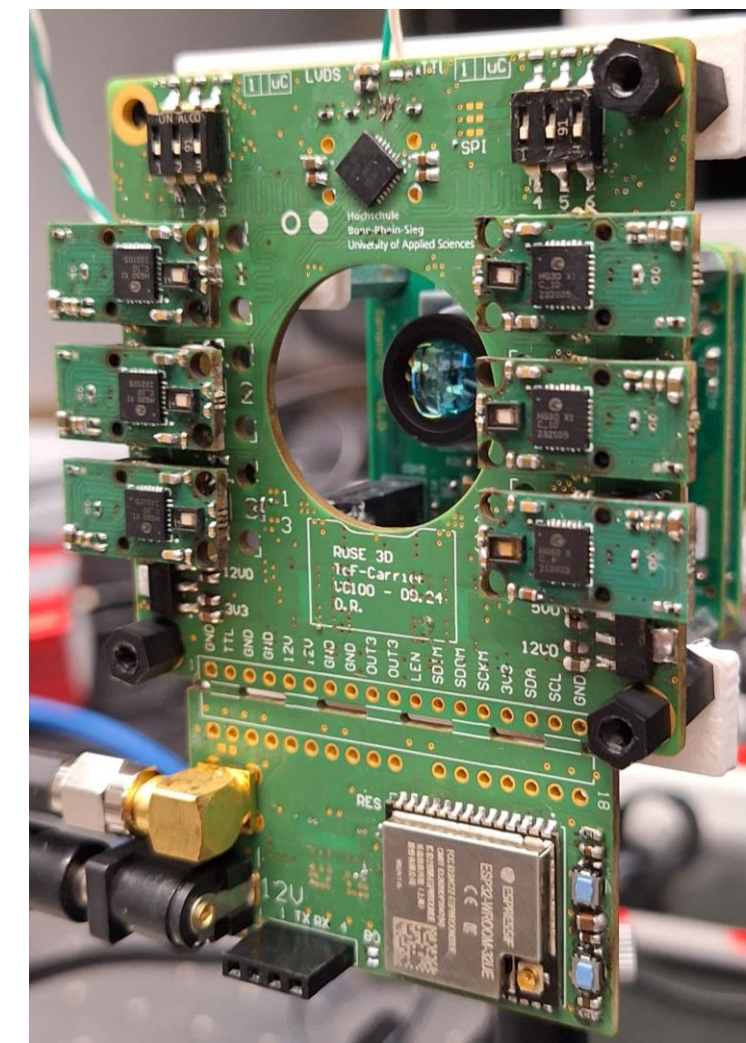
1. Distanzberechnung aus Sensordaten
2. Kalibration und Korrektur von systematischen Fehlern wie Linsenverzerrungen, Fixed-Pattern-Noise und Wiggling
3. Bildaufbereitung durch räumliche und zeitliche Filter
4. Konfidenzbewertung zur Einschätzung der Messzuverlässigkeit und Fehlerwahrscheinlichkeit.

Diese modular aufgebaute Algorithmik erlaubt es gezielte Anpassung vorzunehmen, einzelne Komponenten zu bewerten und gezielt zu optimieren.

Danksagung

Danke an Alexandra Mielke, Daniel Röthgen und Sebastian Kahlert, deren Abschlussarbeiten wichtige Teile zu der Arbeit beigetragen haben.

Gefördert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung; Förderkennzeichen: 13FH554KX1

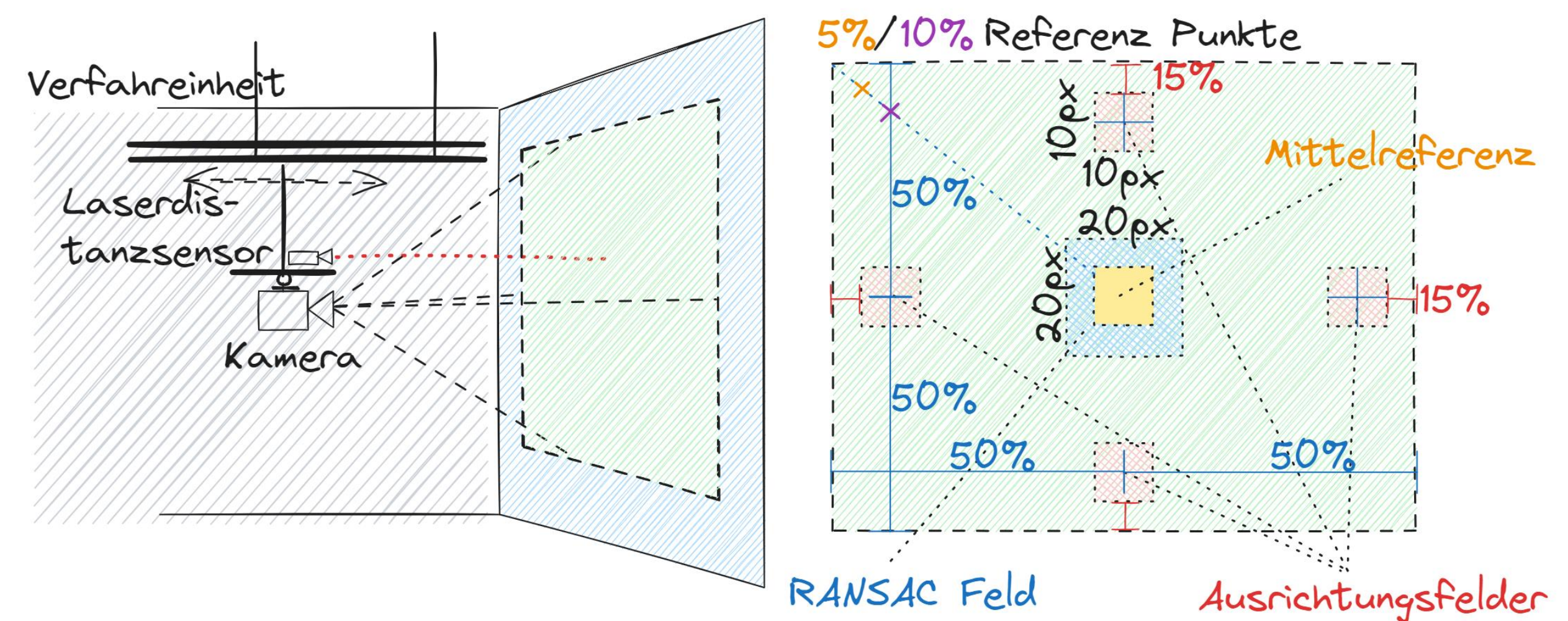


Prototyp der modulare Beleuchtungsplatine

Lösungsansatz: Beleuchtung

Die Beleuchtung ist eine der Kernkomponenten eines ToF-Systems. Dabei skalieren Rauschen und Reichweite direkt mit der emittierten Strahlungsleistung. In der Regel kommen Laser im nahen Infrarotbereich zum Einsatz. Die maximale Leistung dieser Laser ist häufig durch Augensicherheitsrichtlinien begrenzt. Dennoch ermöglichen Optimierungen durch angepasste Strahlformung und Strukturierung zusätzlichen Spielraum.

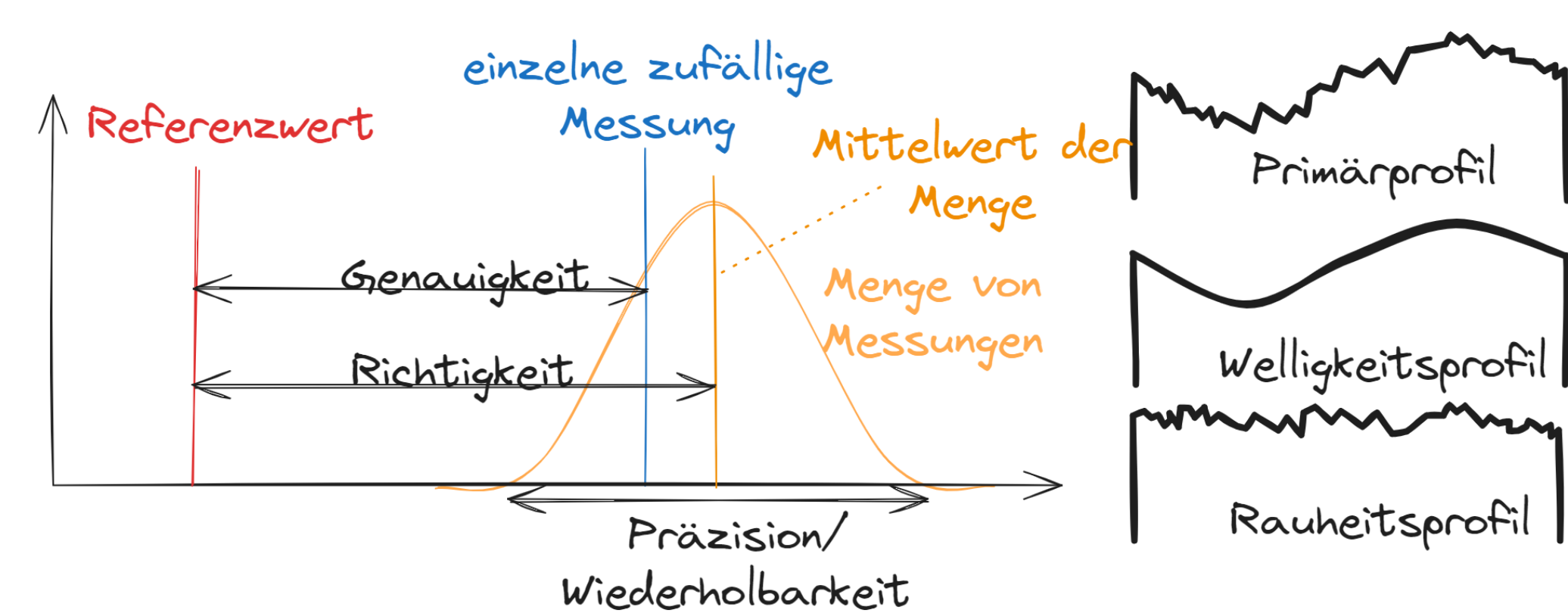
Für die Untersuchungen wurde eine modulare Beleuchtungsplatine entwickelt, die es ermöglicht, verschiedene Beleuchtungskonzepte zu evaluieren. Der Vorteil dieses Konzepts liegt darin, dass Komponenten wie Stromversorgung, Steuerungen und Schnittstellen wiederverwendet werden können, während lediglich Treiber und Laser ausgetauscht werden müssen.



Links schematische Darstellung des Messaufbaus. Rechts Darstellung der wichtigen Bereiche, die während der Evaluation genutzt werden, um die Kamera auszurichten und Referenzwerte zu erheben.

Evaluationsschema

Zu Beginn des Projekts wurde ein Evaluationsschema festgelegt, das die unabhängige und vergleichbare Charakterisierung einzelner Systeme ermöglicht. Der Kern des Aufbaus ist eine Verfahrenseinheit die es erlaubt, die Kamera automatisch an verschiedene Distanzen zwischen 0,4m und 4m relativ zur Wand zu positionieren. Die parallele Ausrichtung zur Wand erfolgt manuell, basierend auf der Tiefenmessung der Kamera. Als Distanzreferenz dient ein hochgenauer Laserdistanzsensor, der zusammen mit der Kamera bewegt wird.



Visualisierung der wichtigsten Kennzahlen: Genauigkeit, Richtigkeit, Präzision, Primär-, Welligkeits-, Rauheitsprofil die bei der Evaluation einer Kamera erhoben werden

Während der Messung werden an 37 Positionen jeweils 100 Messungen aufgenommen und insgesamt etwa 1,14 Milliarden Messpunkte erhoben. Die Datenauswertung reduziert diese auf fünf Haupt- und 22 Nebenkennzahlen. Schwerpunktmäßig werden dabei die Genauigkeit, Richtigkeit, Präzision und Wiederholbarkeit entlang der Messstrecke bestimmt sowie der Oberflächenrekonstruktionsfehler über die Primär-, Welligkeits- und Rauheitsprofile.

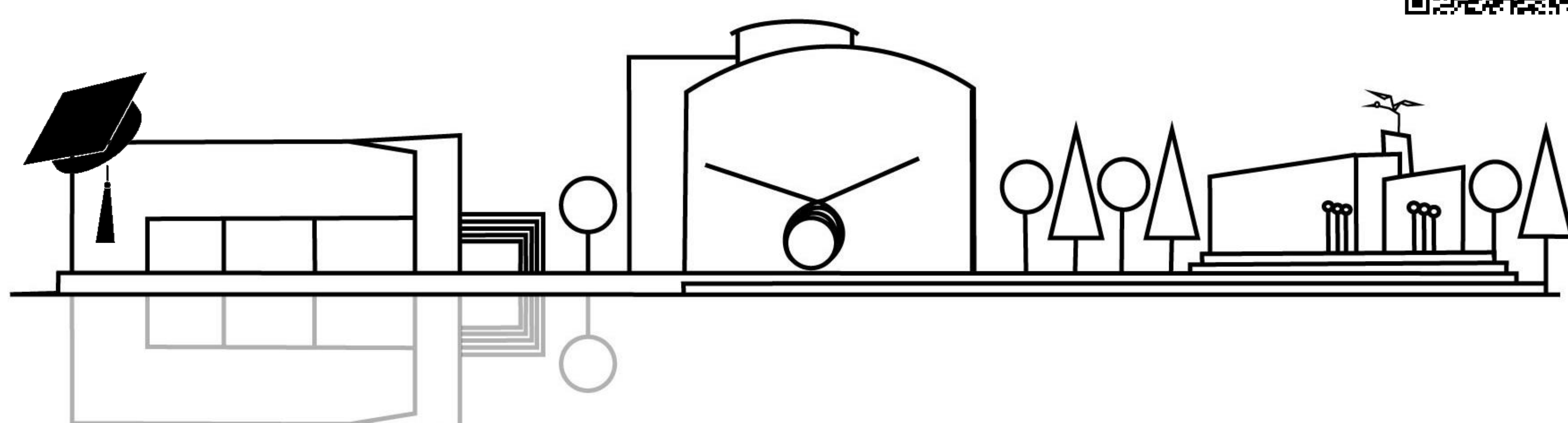


Kontakt

Bastian Stahl
+4922418659531
bastian.stahl@h-brs.de

Betreuung

Robert Lange
+492241865352
robert.lange@h-brs.de



PhD
Project Exhibition